DOI: 10.5846/stxb201512272581
赵红梅,陈晓玲,徐冰,冯炼.年内水热条件变化对冬候鸟数量时空分布特征的影响机制.生态学报,2017,37(8):2828-2837.
Zhao H M, Chen X L, Xu B, Feng L. Impact of hydro-thermal conditions on the spatio-temporal patterns of migratory bird populations. Acta Ecologica Sinica,2017,37(8):2828-2837.

年内水热条件变化对冬候鸟数量时空分布特征的影响机制

赵红梅[1,*],陈晓玲[2],徐 冰[3,4],冯 炼[2]

1 江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 南昌 330022
2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079
3 清华大学环境学院,北京 100084
4 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院,北京 100875

摘要:环鄱阳湖湿地是东亚重要的冬候鸟栖息地,由于湿地内部分区接纳水源的不同,人为活动及地表类型的差异,使得该区冬候鸟数量的时空分布特征相对复杂。综合利用遥感数据、冬候鸟航空调查数据及气象观测数据,借助分区相关性统计分析方法,研究不同尺度环鄱阳湖湿地年内水热要素对冬候鸟数量时空分布特征的影响;通过水文要素之间的相关性分析以及地表温度的时空分布格局研究,探索水热要素之间的耦合关系,进而揭示鄱阳湖区年内水热条件变化对冬候鸟数量时空分布特征的影响机制。研究发现:12 月份气温是影响鄱阳湖湿地冬候鸟数量时空分布特征的驱动因素;受分区农业及生态特征的影响,水文条件的年内变异成为影响鄱阳湖冬候鸟数量时空分布特征的决定因素。研究结果为环鄱阳湖湿地冬候鸟栖息地的保护提供决策依据。

关键词:鄱阳湖湿地;冬候鸟;相关性分析;时空分布特征

Impact of hydro-thermal conditions on the spatio-temporal patterns of migratory bird populations

ZHAO Hongmei [1,*], CHEN Xiaoling[2], XU Bing[3,4], FENG Lian[2]

1 *Key Laboratory of Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang* 330022, *China*
2 *State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing (LIESMARS), Wuhan University, Wuhan* 430079, *China*
3 *School of Environment, Tsinghai University, Beijing* 100084, *China*
4 *College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University, Beijing* 100875, *China*

Abstract: Poyang Lake wetland is a key wintering habitat for migratory birds in East Asia, where the spatio-temporal pattern of migratory bird populations (STP-MB) is complex. This study used multi-source data from MODIS (NASA) from 2000 to 2010, including 10 days/nights of MODIS composite images of land surface temperature data (MODLT1T, provided by International Scientific & Technical Data Mirror Site, Computer Network Information Center, Chinese Academy of Sciences (http://www.gscloud.cn)), annual aerial survey data of migratory birds from 2001 to 2009, and meteorological data. Inter-annual variation in hydro-thermal factors (IAV-HT) and the correlation with migratory bird populations was analyzed at multi-spatial scales to examine the influence of IAV-HT on the STP-MB. Correlation between precipitation and water area, and the spatial pattern of land surface temperature was analyzed to assess coupling correlations within hydro-

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2012AA12A407);国家自然科学基金项目(41101341,41461079)
收稿日期:2015-12-27; **网络出版日期**:2016-10-29

*通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhm8012@jxnu.edu.cn; zhm8012@tom.com

thermal factors. The final impact of IAV-HT on the STP-MB was revealed by the aforementioned coupling analysis. We found that the atmospheric temperature in December was the driving factor behind bird migration; and inter-annual changes in hydrological conditions were the determining factors of STP-MB, which was influenced by agricultural activities and ecological conditions in subzones. This research contributes towards the protection of migratory birds in Poyang Lake.

Key Words: Poyang Lake Wetland; migratory birds; correlation analysis; spatio-temporal pattern

鄱阳湖作为我国最大的内陆淡水湖,其较大的水位动态性,孕育了我国最大的内陆湖泊湿地,是许多珍稀候鸟物种的迁徙、繁育及栖息的重要基地。为了掌握鄱阳湖越冬候鸟的数量及分布特征,相关部门开展了大量的航空候鸟分布调查及其生境特征分析[1-4]。鄱阳湖湿地作为冬候鸟的主要栖息地,其生态条件依赖水位变化,2010 年鄱阳湖水利枢纽工程建设设想的提出,使得鄱阳湖水位变化对冬候鸟栖息面积的影响研究成为业界关注的重点[5-6],并探讨了影响冬候鸟栖息地的临界水位[6]。众多研究表明:候鸟迁徙时间、数量及栖息地的变化受多种栖息环境限制因素(如,温度、降雨、高程、水深等)的影响[7-9]。冬候鸟对温度的响应相对敏感,因此气候变化(如,气温、降水等)会导致某些濒危候鸟的灭绝[10],候鸟对气候变化的脆弱性研究,已引起广泛关注[10-13]。候鸟对气候变化的响应主要表现在候鸟群落组成的时间格局变化[14]和候鸟数量的改变[15]。气候和水文格局的综合变化将改变候鸟的时空分布特征[16],同时改变迁徙物种的数量动态特征[17]。

湖面面积与湿地景观特征密切相关[18],而鄱阳湖水面面积受多种因素的影响,如长江来水及泄水、支流径流量、本地降水等。因此简单的气候变化因子对冬候鸟数量时空分布特征的影响分析,不足以满足研究区的需求。因此本研究综合利用多源遥感数据获取水面面积动态变化数据;利用地表温度遥感反演数据,弥补气象数据点状分布的不足。结合鄱阳湖冬候鸟环湖调查数据,借助分区统计及多尺度相关性统计分析方法,探索水热条件与冬候鸟数量时空分布特征的相关性;通过水文要素之间的相关性分析以及地表温度时空分布特征分析,探索水热要素之间的耦合关系,揭示鄱阳湖区年内水热条件变化对冬候鸟数量时空分布特征的影响机制。从而为环鄱阳湖湿地冬候鸟栖息地的保护提供决策依据。

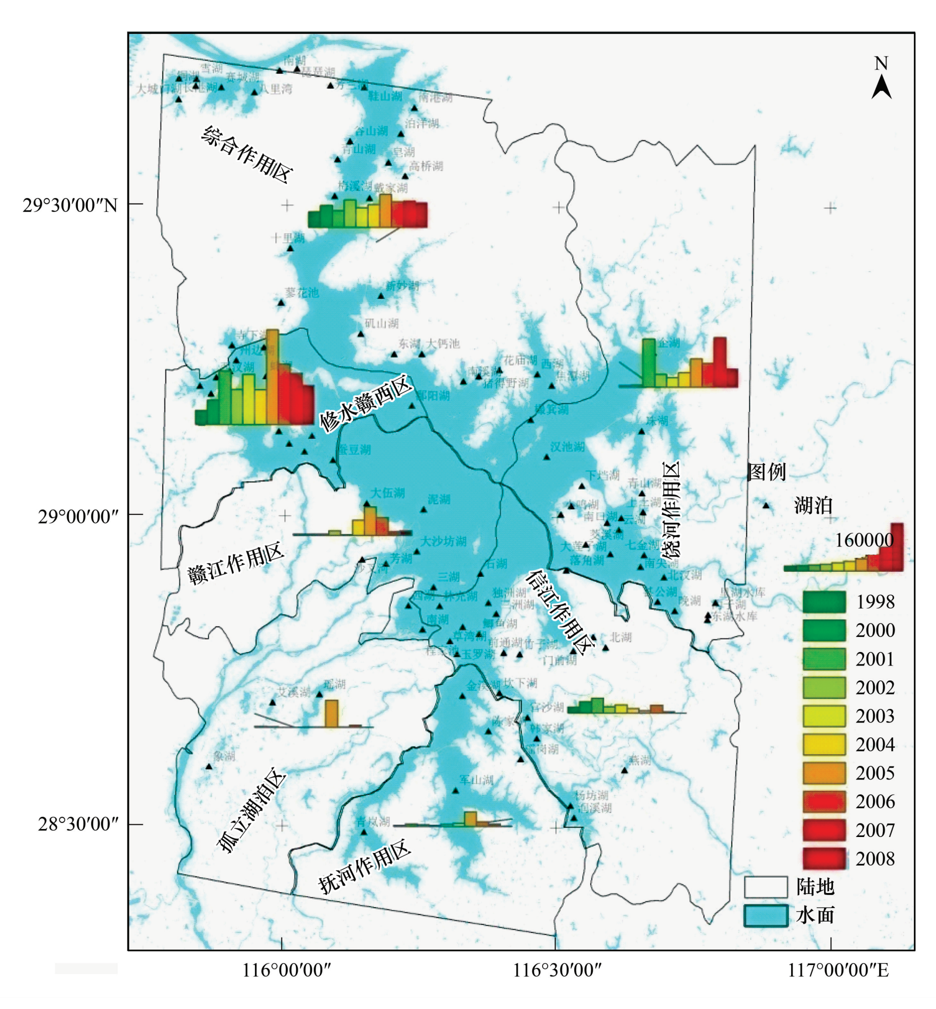
1 鄱阳湖湿地分区与数据获取方法

1.1 湿地分区

鄱阳湖是我国最大的内陆淡水湖泊,主要由修水、赣江、抚河、信江和饶河等 5 条支流汇聚而成;同时受长江水量的影响:洪水期鄱阳湖承纳长江来水,枯水期则泄水以补给长江水量。本文根据影响候鸟栖息地的主要支流,结合行政区划,将该区划分为 7 个子区域:综合作用区、修水赣江西支作用区、赣江作用区、抚河作用区、信江作用区、饶河作用区还有孤立湖泊区(图 1)。各作用区的主要水文特征如下:

- 综合作用区(InZ) 受长江来水、五支流来水和区域降水的综合影响;从行政区划上看主要是指九江市;
- 修水、赣江西支作用区(XGZ) 位于永修县内,受赣江西支、修水以及区域降水的影响;与其他区域不同的是该区内大湖池、沙湖等水位受人为控制,是我国重要的冬候鸟修水、赣江西支作用区之一;
- 赣江作用区(GRZ) 位于新建和南昌县境内,受赣江北支、中支、南支以及区域降水的影响;堑秋湖是该区及信江作用区内特有的渔业活动类型,改变了该区水文时空动态性,可能会成为影响冬候鸟时空分布特征的因素之一;
- 抚河作用区(FRZ) 主要位于进贤县内,主要受抚河来水、区域降水的影响;
- 信江作用区(XRZ) 位于余干县内,主要受信江来水和区域降水影响;
- 饶河作用区(RRZ) 位于鄱阳县内,主要受饶河来水和区域降水影响;
- 孤立湖泊区(IsZ) 位于南昌市区,主要以南昌市内城市孤立湖泊湿地为主,主要包括瑶湖、象湖、艾溪

湖等。



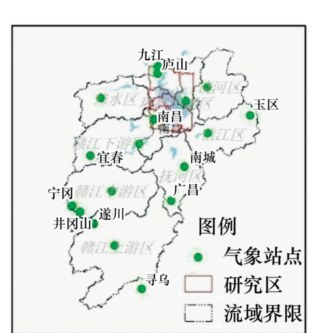


图 1　分区候鸟数量分布图及流域气象站点分布图

Fig.1　Population Distribution of migratory birds in subzones and meteorological stations in Poyang Lake watershed

1.2　数据获取

1999—2009 年鄱阳湖冬候鸟航空调查数据,调查的时间及其代表年份见表 1;调查中的候鸟类别包括鹤、鹳、鹭、鹅、雁、鸭、鸻鹬、鸥、鸬鹚、秧鸡、鹛鹛、猛禽及其它等 13 类 100 余种;调查范围包括 40 余个子湖,单个子湖候鸟数量的年际变化较大,且具有一定的偶发性,为了便于分析,本研究将 40 多个子湖分别归入环鄱阳湖湿地 7 个分区内(图 1);数据的具体调查方法见相关文献[1,3]。

除候鸟调查数据外,研究中还使用了 1998—2010 年间(1999 年不包括在内)鄱阳湖流域 17 个气象站点的气象月值数据(图 1)。遥感影像数据包括:2000—2009 年间 MODIS 影像数据和 MODIS 地表温度旬合成数据(MODLT1T)。

表 1　鄱阳湖湿地冬候鸟航空调查日期及其代表年份

Table 1　Survey Date and its Corresponding Year of Migratory birds, Poyang Lake Wetland

调查日期 Investigation Date	1999-01-09	2001-01-09	2002-01-09	2003-01-09	2004-01-09
对应年份 Corresponding Year	1998	2000	2001	2002	2003
调查日期 Investigation Date	2005-01-09	2005-12-29	2006-12-29	2008-01-03	2009-02-13
对应年份 Corresponding Year	2004	2005	2006	2007	2008

1.2.1　水面积月变化数据的提取

利用 2000—2010 年间空间分辨率为 250m 的 615 景无云覆盖的 MODIS 影像,逐景提取水面面积;根据所提取的水面积,以月为统计单位,计算鄱阳湖区研究时段内月最大水面面积、月最小水面面积、月平均水面面积及月水面面积变率等。

1.2.2　地表温度数据的获取

由地理科学数据云(http://www.csdb.cn/)下载 2000—2009 年 1km 空间分辨率,日间和夜间地表温度旬合成产品(MODLT1T)数据。将每年 36 景日间旬地表温度合成数据和 36 景夜间旬地表温度合成数据进行融合,利用分区矢量图掩模计算获取各分区 2000—2009 日夜旬地表温度平均值。本研究还选用 2000—2009 年枯水期 Landsat TM/ETM+影像提取候鸟栖息期的地表温度。

1.2.3　支流径流量的计算

五河来水及长江水与鄱阳湖的交互作用可能是影响研究区内候鸟时空分布特征的主要因素。为了探索五河来水对候鸟时空分布特征的影响,本研究利用降水量、各流域平均径流系数[19]及流域面积来计算分区径流:

$$径流=降雨量\times流域面积\times径流系数$$

赣江平均径流系数为 0.53,流域面积为 81600km^2; 抚河径流系数为 0.471,流域面积为 15811km^2;信江径流系数为 0.612,流域面积为 15941km^2;饶河径流系数为 0.634 流域面积为 15428km^2;修水径流系数为 0.593,流域面积为 14784km^2;;InZ 是各区综合作用的结果,故径流系数取值为上述 5 支流流域径流系数的均值,而流域面积为鄱阳湖流域总面积。

2　水热要素与冬候鸟数量时空分布特征的相关性

2.1　降水、水面积变化与冬候鸟数量时间分布特征的相关性

本文使用 1998/2000—2009 年间鄱阳湖流域 17 个气象站点月值数据,结合候鸟调查数据,分析了月降水变化与候鸟迁徙数量的相关性:降水与候鸟总量之间没有显著的相关性(表 2)。水面面积变化与候鸟迁徙总量的影响分析表明:1 月份的水面积变化与候鸟数量呈显著正相关(表 2)。

表 2　1999—2010 年月气候异常/水面面积变化与冬候鸟数量的相关系数表($P<0.05$)

Table 2　Correlation Coefficient between Climate Anomaly/Water area Changes and the Population of Migratory birds

项目 Item	月份 Month											
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
TP	0.029	0.65	0.37	−0.19	0.36	0.092	0.22	−0.71	−0.0045	−0.27	0.51	0.22
PP	0.25	−0.61	−0.35	−0.10	0.58	−0.25	0.40	0.057	−0.029	0.044	−0.53	−0.18
Max	0.16	0.06	−0.49	−0.49	−0.06	−0.2	−0.34	−0.56	0.34	−0.53	−0.17	0.27
Min	−0.51	−0.18	−0.19	−0.38	−0.08	−0.43	−0.49	−0.26	−0.4	−0.34	−0.11	−0.18
Mean	−0.17	−0.00	−0.41	−0.46	−0.06	−0.22	−0.47	−0.36	0.08	−0.45	−0.14	0.11
Std	0.61	0.58	−0.60	−0.29	0.04	0.31	0.24	−0.39	0.77	−0.30	−0.21	0.58

TP:温度与候鸟数量的相关系数 Correlation coefficient between monthly mean temperature and population of migratory birds;PP: 降水与候鸟数量的相关系数 Correlation coefficient between monthly mean precipitation and population of migratory birds;Max:月最大水面积与候鸟数量的相关系数 Correlation coefficient between monthly maximum water area and population of migratory birds;Min:月最小水面积与候鸟数量的相关系数 Correlation coefficient between monthly minimum water area and population of migratory birds;Mean:月平均水面积与候鸟数量的相关系数 Correlation coefficient between monthly mean water area and population of migratory birds;Std:月水面积变率与候鸟数量的相关系数 Correlation coefficient between monthly variation of water area and population of migratory birds

补充说明:鄱阳湖湿地冬候鸟越冬期为 12 月—次年 4 月,因此,冬候鸟迁移数量主要受前一年度(5—12 月)气候异常的影响(如,1999 年 1 月 9 日冬候鸟数量可能受 1998 年 5—12 月降水变化的影响)。当候鸟迁移到鄱阳湖湿地后,当年 1—4 月气候异常则成为影响冬候鸟时空分布特征的主要因素(如,1999 年 1 月 9 日

冬候鸟数量受 1999 年 1—4 月降水变化的影响)。表 2 中 5—12 月的相关性系数由 1998/2000—2008 年 5—12 月降水和 1999—2009 年冬候鸟迁徙数量计算所得;1—4 月的相关性系数则由 1999—2009 年 1—4 月降水和冬候鸟迁徙数量计算。

2.2 支流来水量与冬候鸟数量时空分布特征的相关性

为了探索分区水文条件对候鸟时空分布的影响,本研究利用流域降雨量计算各支流的径流量(2.2.3 部分),并结合分区候鸟年际分布数据,探索鄱阳湖支流径流及相对径流量对鄱阳湖湿地候鸟时空分布特征的影响(图 2 和图 3)。从径流对分区候鸟分布绝对数量的影响来看(图 2):综合作用区 9 月份径流量和及其占流域总径流的比例与该区候鸟数量呈显著正相关;信江作用区 6 月份径流占流域总径流的比例与该区候鸟数量亦呈显著正相关;饶河作用区内 10 月份径流所占比例与该区候鸟数量呈正相关;赣江作用区 5 月份径流量与候鸟数量呈显著正相关。从径流对分区候鸟数量所占的比例来看(图 3):综合作用区 10 月份径流比例与候鸟比例呈显著正相关;信江作用区 6 月份径流占流域总径流的比例与该区候鸟比例亦呈显著正相关;赣江作用区 5 月份径流与候鸟比例呈显著正相关;抚河流域 1 月份径流比例与候鸟比例则呈显著负相关。

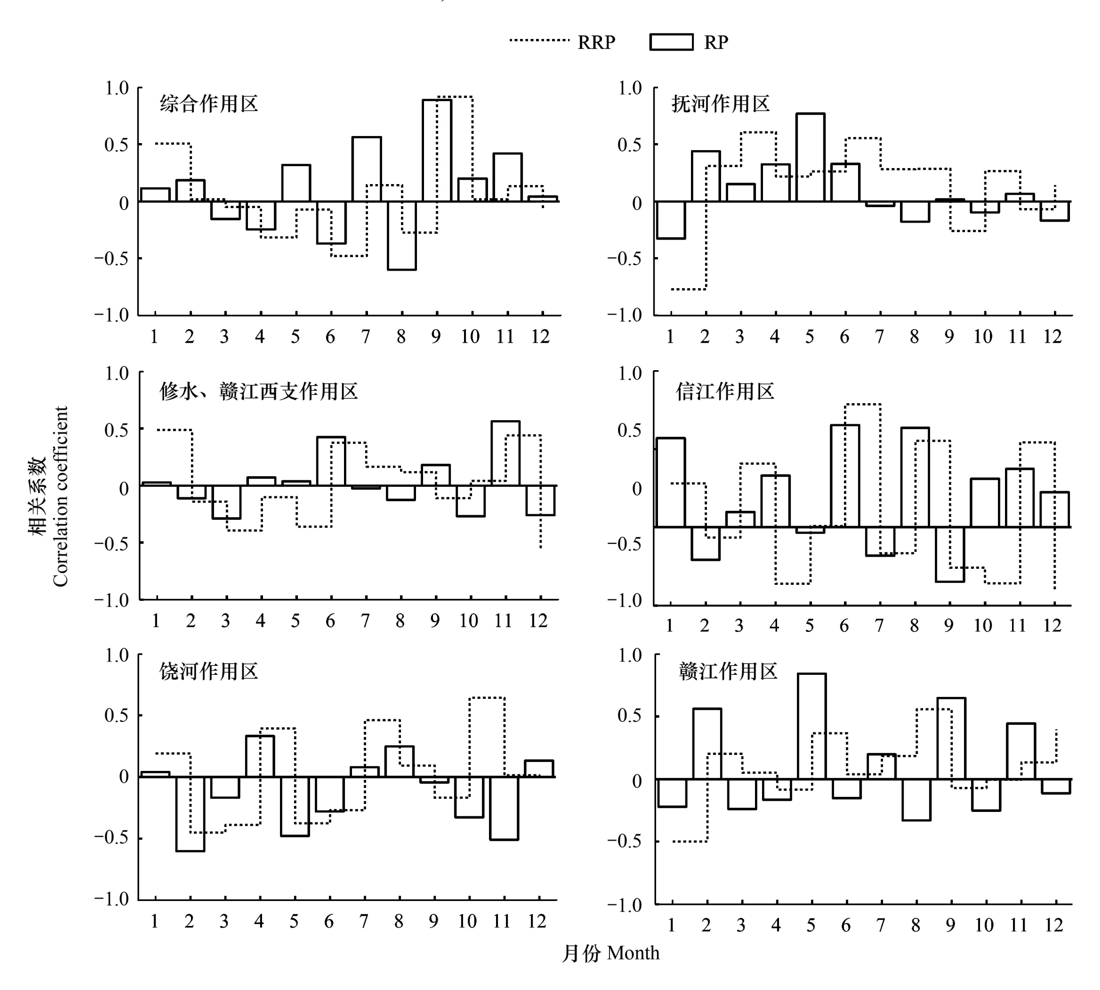


图 2 鄱阳湖湿地分区径流(R)、径流比例(RR)与候鸟数量(P)的相关系数(P<0.05)

Fig.2 Correlation analysis between runoff/runoff ratio and population of migratory birds in subzone

RP: 径流与候鸟数量的相关系数;RRP:径流占流域总径流的比例(RR)与候鸟数量(P)的相关系数

2.3 温度变化与冬候鸟数量时空分布特征的相关性

对于整个流域而言,6 月份和 12 月份的气温异常均会对冬候鸟迁徙数量造成一定影响,其中 6 月份气温异常与候鸟数量呈正相关(0.65),12 月份气温异常与候鸟数量呈显著负相关(-0.71)(表 2);6 月上旬夜均温(第 16 个旬夜均温)和 7 月上旬日均温(第 19 个旬日均温)与候鸟数量呈显著负相关(图 4)。

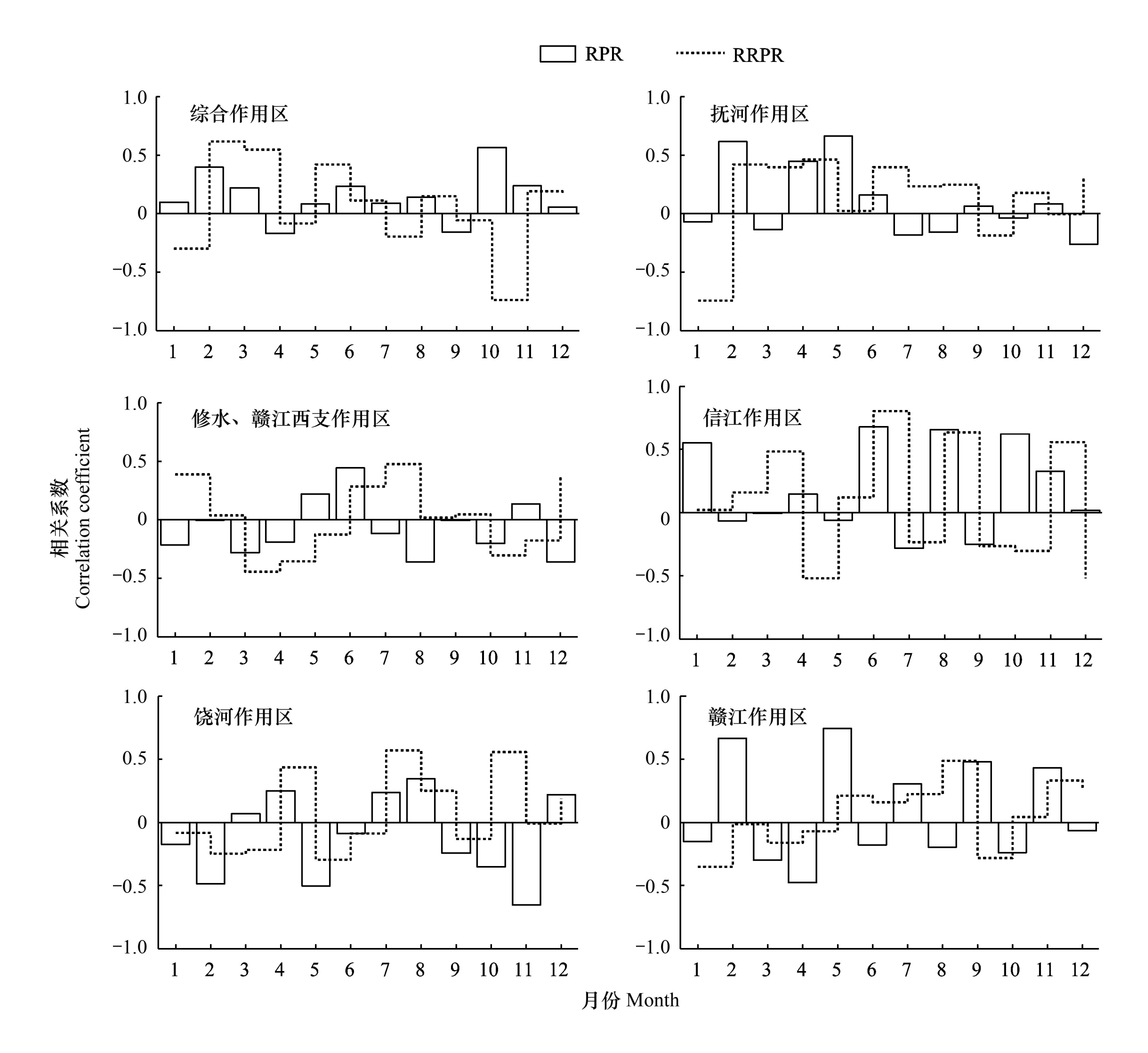


图 3　鄱阳湖湿地分区径流/径流比例与候鸟数量比例的相关性（$P<0.05$）

Fig.3　Correlation analysis between runoff/runoff ratio and population ratio of migratory birds in subzone

RPR:径流与分区候鸟数量所占比例(PR)的相关系数;RR-PR:径流占流域总径流的比例(RR)与分区候鸟数量所占比例(PR)的相关系数

针对修水、赣江西支作用区的分析发现:2 月下旬夜均温与区内候鸟分布数量呈显著负相关;而 3 月上旬夜均温以及 9 月中旬日均温与区内候鸟分布数量呈显著正相关(图 4)。饶河作用区内,7 月上旬日均温及 12 月上旬夜均温与区内候鸟分布数量呈显著负相关(图 4)。赣江作用区,1 月下旬夜均温、6 月中旬夜均温、11 月中旬夜均温与区内候鸟分布数量呈显著正相关;3 月中旬日夜均温与区内候鸟分布数量则呈显著负相关(图 4)。信江作用区内,6 月下旬夜均温、7 月中旬日均温以及 12 月下旬夜均温与区内候鸟分布数量呈显著正相关(图 4)。抚河作用区内,11 月中旬夜均温与区内候鸟分布数量呈显著正相关(图 4)。综合作用区内,7 月上旬日均温以及 12 月上旬日均温与区内候鸟分布数量呈显著负相关(图 6)。

3　水热要素之间耦合关系分析

根据上述相关性分析发现,在环鄱阳湖湿地区域尺度和环鄱阳湖湿地分区尺度下,影响冬候鸟数量时空分布特征的水热条件具有一定的年内分异,且水面面积、降水及径流等水文要素对冬候鸟的影响时间各不相同。为了分析上述分异的原因,本研究就各水文要素之间的相关性进行深入探讨。

3.1　水文要素之间耦合关系

流域降雨量与同期鄱阳湖水面面积的相关性仅为 0.47,而与次月水面面积的相关性为 0.5913(表 3)。五支流流域降雨量与同期鄱阳湖月均水面面积的相关性亦不明显,其相关系数为 0.32—0.47;但降雨量对次月

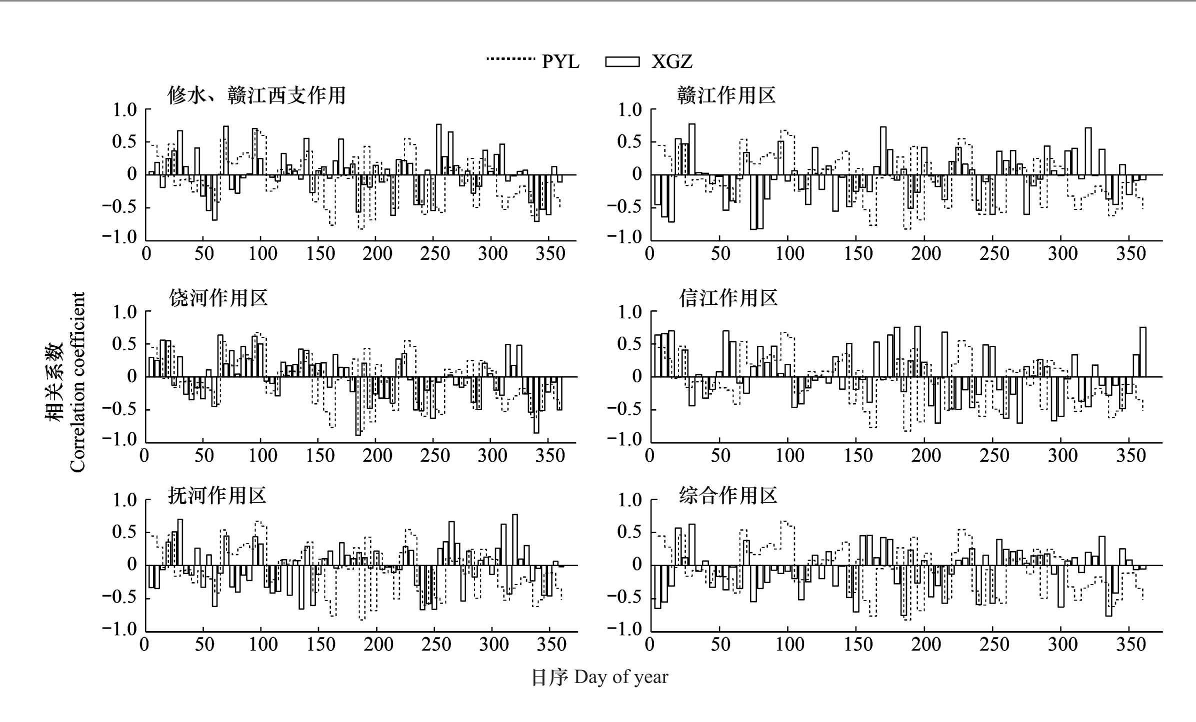


图 4 景观尺度和分区尺度地表温度与候鸟数量的相关性（$P<0.05$）对比图

Fig.4 Correlation analysis between land surface temperature and population of migratory birds in landscape and sub-zone levels

横坐标为日序列，其中 $n\times10(n=1,2,3,\cdots)$ 表示 1 年内第 $[(n-1)\times10+1]$ th ~ $n\times10$th 个旬日均温；$n\times10+5(n=1,2,3,\cdots)$ 表示 1 年内 $[(n-1)\times10+1]$ th ~ $n\times10$th 个旬夜均温

鄱阳湖月均水面面积的影响相对较大，其相关系数为 0.51—0.62（表 3）。赣江来水对鄱阳湖湿地次月平均水面面积的影响较大。

表 3 鄱阳湖水面面积与支流流域降雨量相关性（$P<0.05$）

Table 3 Correlation between Water Area and Precipitation of Sub-watershed

	InZ	FRZ	NCZ	XRZ	RRZ	GRZ
次月 Next Month	0.5913	0.5103	0.5855	0.5494	0.5424	0.6169
当月 Current Month	0.4700	0.3244	0.4759	0.3825	0.3842	0.4748

当月，指月降水量与当月水面面积之间的相关系数；次数，指月降水量与次月水面面积之间的相关系数；InZ：综合作用区 Integrated Zone；FRZ：抚河作用区 Fu River Zone；NCZ：修水、赣江西支作用区，即自然保护区 Natural Conservation Zone；XRZ：信江作用区 Xin River Zone；RRZ：饶河作用区 Rao River Zone；GRZ；GRZ：赣江作用区 Gan River Zone

为了探索长江来水对鄱阳湖湿地水面面积变化的影响时间，本研究按月份分析了不同分区降雨量与鄱阳湖湿地水面面积的关系。1 月份、6—9 月份以及 12 月份流域及各子流域降水量与鄱阳湖湿地水面面积的相关性不大（图 5），说明该时间段内鄱阳湖水面面积的变化主要受长江来水的影响。2—3 月和 5 月份流域降水量对当月鄱阳湖湿地水面面积的影响高于对次月水面面积的影响；4 月和 10 月份流域降水量对次月鄱阳湖湿地水面积的影响较大（图 5）。

鄱阳湖流域 6 月份降水量最大（图 6），但 6 月份流域降水与水面面积相关性不高（图 5）；但受长江来水的顶托水面面积 7—8 月份达到最大值（图 6）；10—12 月份降水量最少，但 10 月份降水对 11 月份水面面积的影响较大，同时受鄱阳湖向长江泄水的影响，其水面面积 12 月份达到最小值（2005 年除外）（图 6）

3.2 水热要素之间耦合关系

为了探索水热要素之间的相关性，本研究选用，提取候鸟栖息期地表温度，并获取同期土地利用/覆盖分类专题图，进而计算冬候鸟栖息期不同地表类型的表面温度，并计算了 2000—2009 年间冬候鸟栖息期内，不同土地利用/覆盖类型的日间地表温度的均值（表 4）。日间，水体的表面温度较其他地表覆盖/类用类型的表

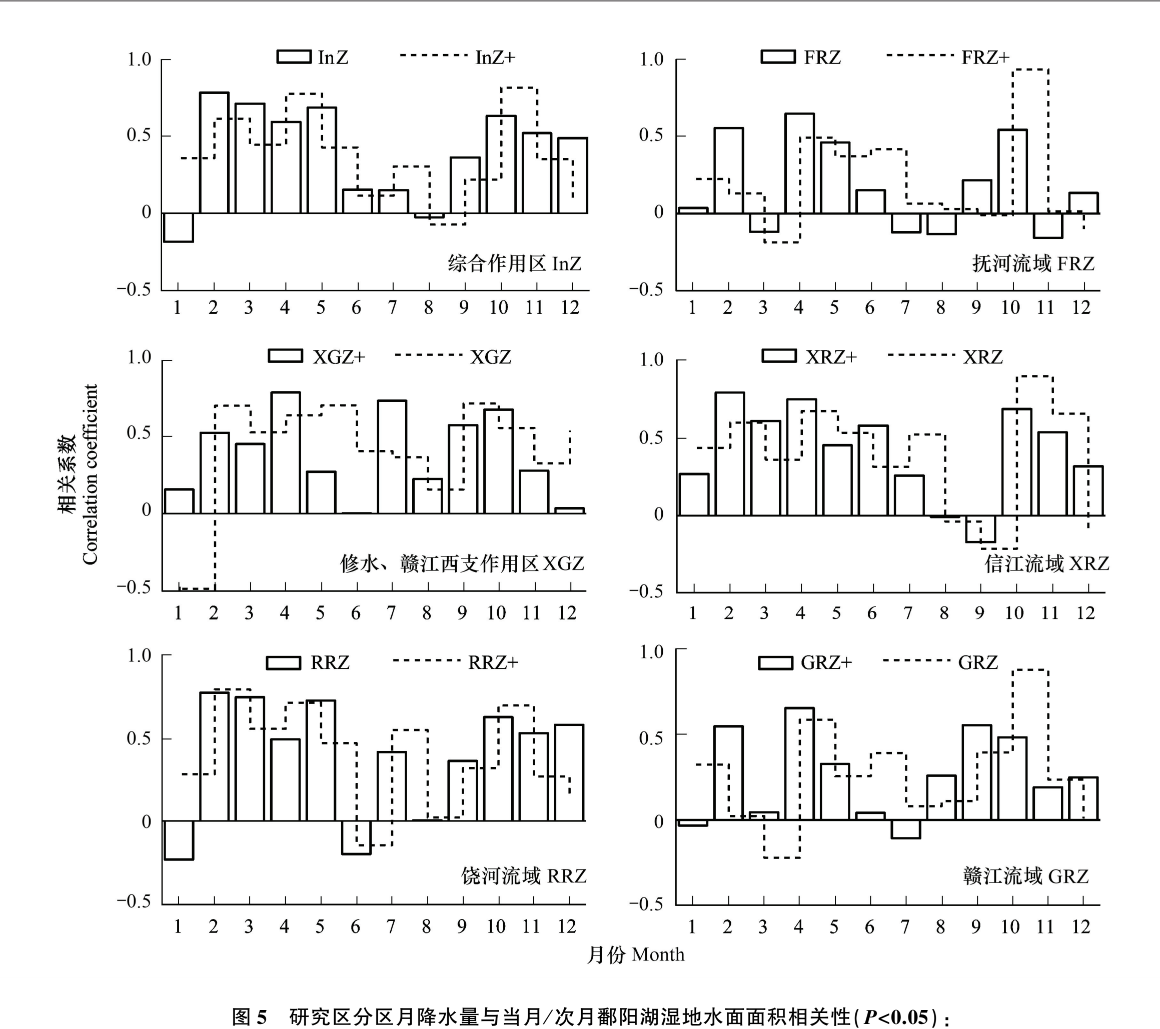


图 5　研究区分区月降水量与当月/次月鄱阳湖湿地水面面积相关性(P<0.05):

Fig.5　Correlation analysis between monthly precipitation and water area of current and next month

+表示对应分区降水与次月水面面积的相关性

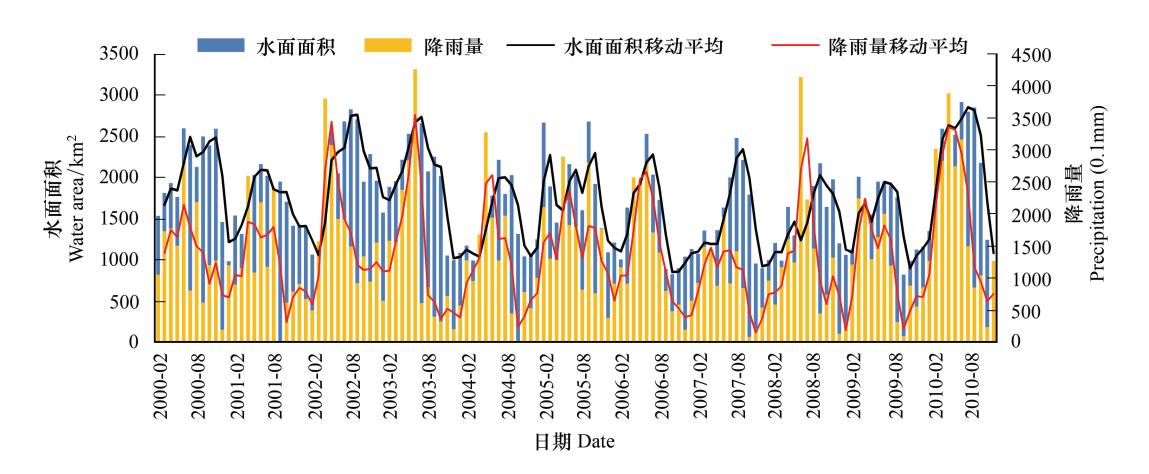


图 6　2000—2010 年间月降水量与鄱阳湖湿地月水面面积变化

Fig.6　Monthly Precipitation and Water Area Change of Poyang Lake from 2000 to 2010

面温度要低,若研究区域内水面面积较大,将会降低日间研究区域的地表均温,同时提高夜间研究区域的地表均温。

表 4 候鸟栖息期内不同土地利用类型日间地表温度均值(℃)

Table 4 Daily Surface Temperature of Land Use Types in the Habitat Period of Migratory birds

河滩/沙地 River Beach	湖滩 Lake beach	农田 Cropland	林地 Forest	城区 Urban	水体 Water
10.79	8.84	9.88	9.34	9.72	7.37

4 水热要素对冬候鸟数量时空分布特征的影响机制

4.1 区域尺度影响机制

针对区域尺度下的环鄱阳湖湿地而言,6 月和 12 月气温、6 月上旬夜均温和 7 月上旬日均温及 1 月份水面积变化是区域尺度冬候鸟数量时空分布特征的主要影响因素。6 月份气温与冬候鸟数量呈正相关,而 6 月上旬夜均温则与冬候鸟数量呈负相关;6 月气温偏高,但 6 月上旬夜地表温度偏低,说明水面积较小(表 4),则湿地生物量偏高,可为冬候鸟越冬提供足量的食料;7 月上旬日均地表温度偏低,说明水面积较大,而 6 月上旬水面积较小,说明 6 月份水面积变率较大;6 月份降水与候鸟数量呈负相关(表 2),说明 6 月份较大的水面积变率来源于长江来水;综合 6、7 月份水热要素与候鸟数量的相关性,不难发现 6 月份长江来水成为影响冬候鸟时空分布的主要因素。

综合 12 月和 1 月的水热条件与候鸟数量的相关性,12 月份气温及最大水面积与候鸟数量成负相关,1 月份水面积变率与候鸟数量呈正相关:12 月最大水面积越小,说明鄱阳湖出水量大,长江下游相对干旱,则鄱阳湖流域具有一定的区域优越性,可吸引较多地候鸟来此栖息;若而 1 月份水面积变率较大,说明五大支流来水相对较大,可为冬候鸟提供足量的养料,进而吸引大量候鸟;气温作为影响冬候鸟迁徙的驱动因素,12 月气温变率越大,候鸟迁徙数量越大。

4.2 分区尺度影响机制

综合作用区内和饶河作用区内候鸟栖息地沿出入湖河道分布,其影响因素的作用时间大致相同,7 月上旬日均温越高,说明该时段内水面面积较小,长江来水相对较少,使得该时段内鄱阳湖水面积并未达到峰值,长江流域处于相对干旱状态;若 9、10 月份径流量或径流比例较高,则会在此区域内孕育出相对优越的湿地环境,进而吸引较多的冬候鸟到此越冬;12 月上旬日夜均温较高,说明该区此时段内气温亦偏高,候鸟迁移数量偏低。

修水、赣江西支作用区内候鸟迁徙数量所占比例最高(图 1),由于该区水位受人为控制,径流及降水对本区的候鸟迁移数量并未造成显著影响;候鸟迁移时段内(2 月下旬和 3 月上旬),夜间温度对候鸟栖息环境的影响明显;同时养料孕育期的 9 月中旬日均温对候鸟迁移数量亦有明显影响(图 6):温度越高,越有利于区域生物量的积累,为后期候鸟迁移提供食粮。

候鸟栖息地临近的赣江作用区和信江作用区内,受堑秋湖这一特殊农业类型的影响,5 月份和 6 月份径流量越大,湛秋湖的面积和数量越多,进而导致 6、7 月份夜均温偏高,渔业发展可为冬候鸟提供足够的食料;若候鸟迁移后,温度适宜(1 月份和 11 月中旬、12 月下旬份夜均温),则该区候鸟数量增多。

5 结论

多云多雨地区夜间热红外影像可在一定程度上补充日间影像监测水面积资料的不足。鄱阳湖湿地 6—9 月份昼夜地表温度数据可反映同期水面积的变化。传统的相关性统计分析方法可用于水热要素的相关性分析,却无法揭示水热要素之间的耦合关系。本研究将相关性统计分析方法与地表温度的空间格局分析相结合,探索研究区内水热要素的耦合关系,揭示了水热要素对冬候鸟数量是时空分布特征的影响机制:(1)区域尺度上,水文条件的年内变异是影响鄱阳湖冬候鸟数量时空分布特征的决定因素,候鸟迁徙期,尤其是 12 月份气温是影响鄱阳湖湿地冬候鸟数量时空分布特征的驱动因素;(2)分区尺度上,鄱阳湖支流径流量对冬候

鸟迁徙数量的影响,其作用时间随区域农业活动的变化而产生一定的分异。

参考文献(References):

[1] 纪伟涛, 曾南京, 易武生, 伍旭东. 鄱阳湖鹤类和大型水禽航空调查报告.江西林业科技, 1999, (6): 22-27.

[2] 候银续.越冬地和迁徙停歇地东方白鹳生境选择[D].合肥: 安徽大学, 2008.

[3] 吴建东, 纪伟涛, 刘观华,伍旭东,龚磊强,王水清,高云云,邹楠,詹慧英,罗浩,高翔,郭玉江,王小龙,杨燕. 航空调查越冬水鸟在鄱阳湖的数量与分布.江西林业科技, 2010,(1): 23-28.

[4] 朱奇, 刘观华, 曾南京,吴建东,金杰锋,詹慧英. 鄱阳湖国家级自然保护区白鹤、东方白鹳和小天鹅种群数量与分布.湿地科学与管理, 2012,8(4): 53-56.

[5] 夏少霞, 于秀波, 范娜. 鄱阳湖越冬季候鸟栖息地面积与水位变化的关系.资源科学, 2010,32(11): 2072-2078.

[6] 刘成林, 谭胤静, 林联盛, 陶海南, 谭晦如. 鄱阳湖水位变化对候鸟栖息地的影响.湖泊科学, 2011,23(1): 129-135.

[7] Dawson T P, Berry P M, Kampa E. Climate change impacts on freshwater wetland habitats.Journal for Nature Conservation, 2003,11(1): 25-30.

[8] Oneal A S, Rotenberry J T. Scale-dependent habitat relations of birds in riparian corridors in an urbanizing landscape. Landscape and Urban Planning, 2009,92(3/4): 264-275.

[9] Kreakie B J, Keitt T H. Integration of distance, direction and habitat into a predictive migratory movement model for blue-winged teal (*Anas discors*).Ecological Modelling, 2012,224(1): 25-32.

[10] Şekercioğlu Ç H, Primack RB, Wormworth J. The effects of climate change on tropical birds.Biological Conservation, 2012,148(1): 1-18.

[11] La Sorte F A, Jetz W. Projected range contractions of montane biodiversity under global warming. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2010, 277(1699): 3401-3410.

[12] Harris J B C, Şekercioğlu Ç H, Sodhi N S, Fordham D A, Paton D C, Brook B W. The tropical frontier in avian climate impact research. Ibis, 2011, 153(4): 877-882.

[13] Sodhi N S, Sekercioğlu Ç H, Barlow J, Robinson S. Conservation of Tropical Birds. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011.

[14] Romano M, Barberis I, Pagano F, Maidagan J. Seasonal and interannual variation in waterbird abundance and species composition in the Melincué saline lake, Argentina. European Journal of Wildlife Research, 2005,51(1):1-13.

[15] Royan A, Hannah D M, Reynolds SJ, Noble D G, Sadler J P. River birds' response to hydrological extremes: new vulnerability index and conservation implications. Biological Conservation, 2014,177: 64-73.

[16] Carvalho D, Horta P, Raposeira H, Santosa M, Luísc A, Cabrala J A. How do hydrological and climatic conditions influence the diversity and behavioural trends of water birds in small Mediterranean reservoirs? A community-level modelling approach. Ecological Modelling, 2013, 257: 80-87.

[17] Anderson J J, Gurarie E, Bracis C, Burke B J, Laidre K L. Modeling climate change impacts on phenology and population dynamics of migratory marine species. Ecological Modelling, 2013,264: 83-97.

[18] Yuan Y J, Zeng G M, Liang J, Li X D, Li Z W, Zhang C, Huang L, Lai X, Lu L H, Wu H P, Yu X. Effects of landscape structure, habitat and human disturbance on birds: a case study in East Dongting Lake wetland.Ecological Engineering, 2014,67: 67-75.

[19] 郭华, 苏布达, 王艳君, 姜彤.鄱阳湖流域1955-2002年径流系数变化趋势及其与气候因子的关系.湖泊科学, 2007,19(2): 163-169.